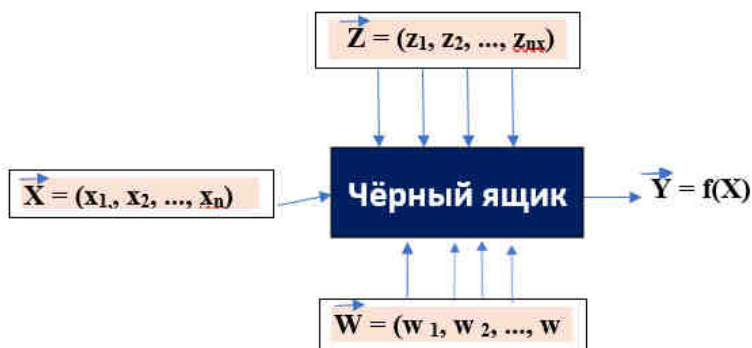




ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ МОЛДОВЫ

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Учебное пособие



Кишинэу
2023

**ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
МОЛДОВЫ**

**ФАКУЛЬТЕТ ЭЛЕКТРОНИКИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ
ДЕПАРТАМЕНТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И
ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ**

**ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА И
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

Учебное пособие

**Chişinău
Editura „Tehnica-UTM”
2023**

CZU 519.6(075.8)

III 51

Работа обсуждена и принята к публикации на заседании Совета факультета электроники и телекоммуникаций, протокол № 6 от 29.06.23.

В учебном пособии представлены научные методы математического моделирования на основе специальных планов пассивного и активного экспериментов, описаны последовательные этапы статистической обработки экспериментальной информации о параметрах многофакторных объектов.

По каждому методу дан соответствующий теоретический материал и практические примеры, позволяющие изучить теоретические основы и практические аспекты при исследовании сложных объектов электроники и телекоммуникаций.

Учебное пособие предназначено для студентов специальности *Электронные Системы Связи*, цикл II Мастерата для освоения дисциплины «Управление научными исследованиями», а также для курсового и дипломного проектирования. Кроме того материалы, представленные в учебном пособии, будут полезными при проведении научно-исследовательских работ, в том числе в докторских диссертациях.

Автор: конф. унив., доктор Т. Шестакова

Рецензент: конф. унив., доктор П. Нистирюк

DESCRIEREA CIP A CAMEREI NAȚIONALE A CĂRȚII DIN RM

Шестакова, Т.

Планирование эксперимента и математическое моделирование: Учебное пособие / Т. Шестакова; Технический университет Молдовы, Факультет электроники и телекоммуникаций, Департамент телекоммуникаций и электронных систем.

– Chișinău: Tehnica-UTM, 2023. – 64 p.: fig., tab.

Aut. indicat pe verso f. de tit. – Bibliogr.: p. 62 (9 tit.). – 25 ex.

ISBN 978-9975-45-984-6

© UTM, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АКТИВНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА	8
1.1 Общие положения	8
1.2 Полный факторный эксперимент (ПФЭ).....	12
1.3 Дробный факторный эксперимент (ДФЭ).....	27
1.4 Планирование второго порядка	30
1.4.1 Общие положения	30
1.4.2 Ортогональное центральное композиционное планирование (ОЦКП)	32
1.4.3 Ротатабельное центральное композиционное планирование (РЦКП)	34
1.5 Планирование эксперимента в условиях неуправляемого временного дрейфа	36
2. МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПАССИВНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА	44
2.1 Общие положения	44
2.2 Модифицированный метод случайного баланса (по пассивным данным) ММСБп	46
2.3 Метод наименьших квадратов классический.....	53
2.4 Метод наименьших квадратов с предварительной ортогонализацией (МНКО)	54
2.5 Сравнительный анализ методов математического моделирование	58
Вопросы для проверки	60
БИБЛИОГРАФИЯ	62
ПРИЛОЖЕНИЕ	63

ПЛАНИРОВАНИЕ НАУЧНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Одним из методов исследований и определения взаимосвязей между параметрами сложных процессов является математическое моделирование. Математическая модель необходима для контроля, управления и прогнозирования «поведения» исследуемого объекта. Математические модели могут быть получены по результатам специальных научных экспериментов, реализованных на изучаемом объекте.

Научный эксперимент - представляет собой комплекс мер, направленных на эффективную реализацию исследования. Основная цель научного эксперимента - получить максимальную точность результатов при минимальном количестве экспериментов, обеспечивая статистическую подлинность полученных результатов.

Модель представляет собой упрощённую систему, которая отражает особенности изучаемого объекта. Каждый процесс может быть описан разными моделями. Однако, ни одна модель не может полностью и абсолютно точно описать изучаемый процесс. Но применение упрощённой модели, которая отражает отдельные характеристики объекта, позволяет более чётко увидеть взаимосвязь между причиной и следствием, входом и выходом, быстрее сделать определённые выводы и принять правильное решение.

В общем виде, различают 2 вида моделей:

а) **физическая модель** – воспроизведение объекта в ином масштабе (*модель ДВС, модель атома, модель солнечной системы...*)

Физическое моделирование объекта состоит в его воспроизведении в другом масштабе, при условии, что анализ объекта осуществляется за счёт замены изучаемого физического

процесса аналогичным процессом, описывающим ту же физической природы. Здесь можно перенести количественную передачу результатов эксперимента от модели на оригинал. Однако для анализа сложных процессов и объектов, таких как большинство электронных схем, сетей, технологических процессов, применение физического моделирования очень затруднительно, т.к. приходится использовать большое количества критериев и ограничений, который могут быть несовместимы и даже невыполнимы.

б) *математическая модель*

Математическое моделирование — это количественное или качественное описание объекта, при котором реальный объект, процесс или явление упрощаются, схематизируются и описывается соответствующим уравнением. Для этого применяются различные математические средства - дифференциальные или интегральные уравнения, абстрактная алгебра, математическая логика, теория вероятности, математическая статистика и т. д.

В этой работе будут рассмотрены методы получения *математических* моделей объектов.

В этом случае, объект представляется в виде так называемого “**черного ящика**”.



“*Черный ящик*” – это научный метод, при котором по известным данным на входе и выходе объекта необходимо

определить, по какому правилу происходит преобразование информации, т.е. рассчитать математическую модель.

Целью математического моделирования является установление математической связи между выходом и входом «черного ящика».

Любое экспериментальное исследование содержит следующие этапы:

1. **Этап постановки задачи;**
2. **Этап планирования и проведения эксперимента;**
3. **Обработка результатов эксперимента, расчёт математической модели;**
4. **Анализ и интерпретация полученных результатов.**

Очень важным этапом является формулировка **цели** и **задач** исследований, составления списка управляемых входных факторов и определение целевого (выходного) параметра, уравнение которого будет рассчитано по результатам научного эксперимента.

Для расчёта математической модели используются результаты экспериментов, которые могут быть двух типов:

- 1) **Активный эксперимент;** 2) **пассивный эксперимент.**

Для реализации каждого типа эксперимента существуют специальные планы, построенные по специальным правилам. По результатам реализации этих планов рассчитываются математические модели, причём каждому типу плана соответствует свой вид модели. Рассмотрим подробнее правила построения и реализации экспериментов, процедуру расчёта математической модели, интерпретацию полученных результатов.

Методы математического моделирования научного эксперимента можно представить в виде классификации, представленной на рис. 1.1.



Рис. 1. Классификация методов планирования экспериментов и математического моделирования

Рассмотрим подробнее методы математического моделирования, представленные в приведённой классификации.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Шестакова Т. Методы первичной обработки экспериментальных данных. Учебное пособие. – Chişinău: Editura „Tehnica-UTM”, UTM, 2022. – 65с.
Доступно: <http://repository.utm.md/handle/5014/20567>
2. Долгов, Ю. Статистическое моделирование. Учебник для ВУЗов – Тирасполь: Полиграфист, 2014. – 352 с.
3. Г. Н. Овсянников. Факторный анализ в доступном изложении: Изучение многопараметрических систем и процессов. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2018. - 176 с.
4. Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы теории обработки наблюдений. -М.: Физматгиз, 1962.
5. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. - М.: Наука, 1971.
6. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В., Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Издание второе, переработанное и дополненное. М.: Наука, 1976. – 280 с.
7. Шестакова Т. Повышение качества изделий электронной техники путем моделирования стадий их производства. - Технология и конструирование в электронной аппаратуре, № 3(69), 2007, -с.53-55.
8. George E.P. Box, William G. Hunter and J. Stuart Hunter. Statistics for Experimenters - An Introduction to Design, Data Analysis, and Model Building (John Wiley and Sons, Inc. 2015). ISBN 0-471-09315-7.
9. Dharmaraja Selvamuthu, Dipayan Das. Introduction to Statistical Methods, Design of Experiments and statistical quality control.- Springer, New Delhi, 2018.